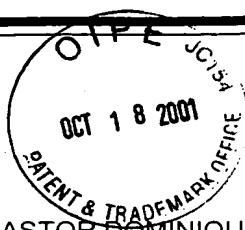


Noise reduction algorithm

Patent Number: ☐ FR2771543
Publication date: 1999-05-28
Inventor(s): REYNAUD GERARD; PASTOR DOMINIQUE
Applicant(s):: SEXTANT AVIONIQUE (FR)
Requested Patent: ☐ WO9927523
Application Number: FR19970014642 19971121
Priority Number(s): FR19970014642 19971121
IPC Classification: G10L7/08
EC Classification: G10L21/02A1
Equivalents:

**Abstract**

The splitting and weighting effects reduces the noise edge effects produced between frames.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

RECEIVED
OCT 26 2001
TO 3700 MAIL ROOM



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

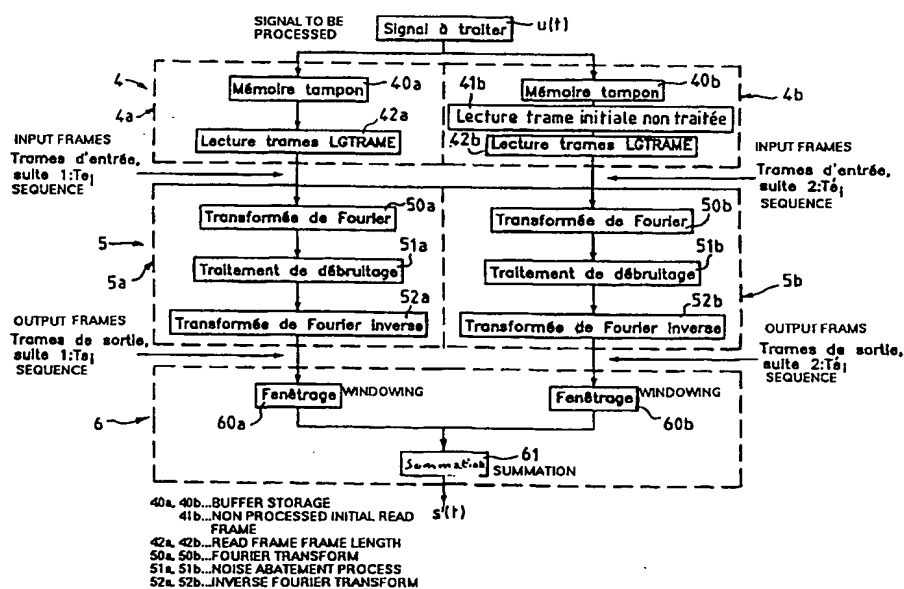
(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G10L 3/02	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/27523 (43) Date de publication internationale: 3 juin 1999 (03.06.99)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02491</p> <p>(22) Date de dépôt international: 20 novembre 1998 (20.11.98)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 97/14642 21 novembre 1997 (21.11.97) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): SEXTANT AVIONIQUE [FR/FR]; Aérodrôme de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): PASTOR, Dominique [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). REYNAUD, Gérard [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).</p> <p>(74) Mandataire: THOMSON-CSF PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE; Dépt. Protection et Conseil, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i></p>

(54) Title: METHOD FOR RECONSTRUCTING SOUND SIGNALS AFTER NOISE ABATEMENT

(54) Titre: PROCEDE DE RECONSTRUCTION, APRES DEBRUITAGE, DE SIGNAUX SONORES

(57) Abstract

The invention concerns a method which is applied to a noise abatement process of a sound signal starting with a digitisation followed by a splitting (4a, 4b) of the noisy signals ($u(t)$) into two frame sequences. The frames (Te_i) of the first sequence are all identical. The first frame of the second sequence has a length equal to a half-frame, the other frames ($T'e_i$) being of the same length as those of the first sequence (Te_i), so as to obtain a half-frame shift. The frames of each sequence (Te_i , $T'e_i$) are noise-corrected by applying a Fourier transform (50a, 50b), a Wiener filtering (51a, 51b), and an inverse Fourier transform (52a, 52b). It consists in weighting the frames of the two sequences (60a, 60b) through a cosine window and summing them (61) so as to reconstruct the noise-free signals ($s'(t)$).



(57) Abrégé

Le procédé selon l'invention s'applique à un traitement de débruitage de signal sonore commençant par une numérisation suivie d'un découpage (4a, 4b) des signaux bruités (u(t)) en deux suites de trames. Les trames (Te_i) de la première suite sont toutes identiques. La première trame de la seconde suite a une longueur égale à une demi-trame, les autres trames (T'e_i) étant de même longueur que celles de la première suite (Te_i), de manière à obtenir un décalage d'une demi-trame. Les trames de chaque suite (Te_i, T'e_i) sont débruitées par application d'une transformée de Fourier (50a, 50b), d'un filtrage de Wiener (51a, 51b), et d'une transformée de Fourier inverse (52a, 52b). Il consiste à pondérer les trames des deux suites (60a, 60b) par une fenêtre en cosinus et à les sommer (61) de manière à reconstruire des signaux (s'(t)) exempts de bruit.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE DE RECONSTRUCTION, APRES DEBRUITAGE, DE SIGNAUX SONORES

La présente invention concerne un procédé de reconstruction, après débruitage, de signaux sonores.

5 Elle s'incrit plus particulièrement dans le cadre du débruitage de signaux sonores contenant de la parole captée en milieux bruités. Elle trouve une application principale, bien que non exclusive, dans le cadre des communications téléphoniques ou radiotéléphoniques, de la reconnaissance
10 vocale, de la prise de son à bord d'aéronefs civils ou militaires, et de façon plus générale de tous véhicules bruyants, d'intercommunications de bord, etc.

A titre d'exemple non limitatif, dans le cas d'un aéronef, les bruits résultent des moteurs, de la
15 climatisation, de la ventilation des équipements de bord ou des bruits aérodynamiques. Tous ces bruits sont captés, au moins partiellement, par le microphone dans lequel parle le pilote ou un autre membre de l'équipage. En outre, pour ce type d'application en particulier, une des caractéristiques
20 des bruits est d'être très variables dans le temps. En effet, ils sont très dépendant du régime de fonctionnement des moteurs (phase de décollage, régime stabilisé, etc..). Les signaux utiles, c'est-à-dire les signaux représentant les conversations, présentent également des particularités :
25 ils sont le plus souvent de brève durée.

Enfin, quelle que soit l'application envisagée, si on s'intéresse au "voisement", on peut mettre en évidence certaines particularités. Comme il est connu, le voisement concerne des caractéristiques élémentaires de morceaux de
30 parole, et plus précisément concerne les voyelles, ainsi qu'une partie des consonnes : "b", "d", "g", "j", etc. Ces lettres se caractérisent par un signal audiophonique de structure pseudo-périodique.

En traitement de la parole, il est usuel de considérer que les régimes stationnaires, notamment le voisement précité, s'établissent sur des durées comprises entre 10 et 20 ms. Cet intervalle de temps est caractéristique des phénomènes élémentaires de la production de la parole et sera dénommé trame ci-après.

Aussi, il est usuel que les procédés de débruitage prennent en compte cette caractéristique importante des signaux sonores comprenant de la parole.

10 Ces procédés comprennent généralement les étapes principales suivantes : un découpage en trames du signal audiophonique à débruiter, le traitement de ces trames par une opération de transformée de Fourier (ou d'une transformée similaire) pour passer dans le domaine
15 fréquentiel incluant un fenêtrage approprié tel qu'un fenêtrage de Hanning, le traitement de débruitage proprement dit par filtrage numérique, et un traitement, dual du premier, par une transformée de Fourier inverse, pour revenir dans le domaine temporel et reconstruire le signal
20 débruité.

Dans la pratique, on met en oeuvre des techniques numériques. Aussi, les signaux de trame ne sont pas des signaux à "évolution continue", mais des signaux discrets, obtenus par échantillonnage. On suppose que les signaux sont
25 échantillonnés à la période T_e , avant traitement numérique. Il est courant de considérer alors 2^p échantillons pour une trame de signal, en choisissant p de manière à ce que la valeur $2^p \times T_e$ soit de l'ordre grandeur de la durée D d'une trame. A titre d'exemple, pour une fréquence
30 d'échantillonnage de 10 kHz, on choisit souvent des trames de 12,8 ms, de manière à pouvoir disposer de 128 points pour chaque trame, ce qui constitue une puissance de deux. Le nombre d'échantillons correspondant à une trame sera noté ci-après LG_{trame} . La relation suivante : $D = LG_{trame} \times T_e$, est
35 donc satisfaite.

La figure 1 placée en annexe de la présente description illustre les étapes d'un procédé de débruitage d'un signal bruité $u(t) = s(t) + x(t)$, selon l'art connu et conforme à ce qui vient d'être rappelé. $s(t)$ est le signal utile (signal de parole, par exemple) et $x(t)$ le signal de bruit. Le procédé comprend trois phases :

- une phase de découpage en trames 1, comprenant elle-même deux étapes : la numérisation du signal $u(t)$ et le stockage en mémoire tampon (étape 10), et le découpage du signal original en trames de longueur LG_{trame} et la lecture de ces trames (étape 11) ;

- une phase de débruitage 2, comprenant elle-même deux étapes : l'application d'une transformée de Fourier ou une transformée équivalente pour passer dans le domaine fréquentiel (étape 20) sur une suite de trame d'entrée Te_i (i variant de 1 à N , nombre maximum de trame de la suite) et un filtrage numérique qui réalise le débruitage proprement dit (étape 21) et :

- une phase de reconstruction du signal 3, par application d'une transformée de Fourier inverse ou, de façon plus générale, une transformée duale de la première (étape 22), ce qui génère une suite de trame de sortie Ts_i .

Le signal utile $s'(t)$ est récupéré à la fin de la phase 3. En réalité, ce signal a été référencé $s'(t)$ et non $s(t)$, car il s'agit d'un signal "estimé" et non pas du signal utile exact $s(t)$ qui serait extrait du signal bruité $u(t)$. Il comporte des erreurs par rapport à la valeur exacte du signal $s(t)$, dont le taux fluctue dans le temps.

L'opération de débruitage proprement dite (étape 21) s'effectue avantageusement à l'aide d'un filtre de Wiener optimal. Ce filtre présente l'intérêt de traiter chaque trame, a priori, de façon différente de la trame précédente et de la trame suivant .

Si on appelle :

- $U(n)$ la transformée de Fourier Discrète du processus aléatoire observé, c'est-à-dire le signal bruité ;

- $S(n)$ la transformée de Fourier Discrète du processus "désiré", à estimer par filtrage linéaire de $U(n)$;

5 - $X(n)$ la transformée de Fourier Discrète du bruit additif polluant le signal utile ;

- $W(z)$ le filtre d'estimation exprimé dans le domaine fréquentiel ;

- $\gamma_s(n)$ la densité spectrale du signal utile ; et :

10 - $\gamma_x(n)$ la densité spectrale du bruit parasite,

l'équation décrivant le filtre de Wiener est donnée par la relation suivante :

$$W(n) = \frac{\gamma_s(n)}{\gamma_s(n) + \gamma_x(n)} = 1 - \frac{\gamma_x(n)}{\gamma_u(n)} \quad (1),$$

relation dans laquelle : $\gamma_u(n) = \gamma_x(n) + \gamma_s(n)$

15 (2).

A titre d'exemples non limitatifs, des filtres de Wiener sont décrits dans les livres suivants, auxquels on pourra se référer avec profit :

20 - Yves THOMAS : "Signaux et systèmes linéaires", éditions MASSON (1994) ; et

- François MICHAUT : "Méthodes adaptatives pour le signal", édition HERMES (1992).

25 L'examen de l'équation (1) montre que les paramètres du filtre de Wiener varient d'une trame à l'autre, puisque si le numérateur du second terme est figé pour un nombre de trames fini, le dénominateur est variable .

En sortie du filtre de Wiener, on dispose donc des trames débruitées une à une, avec des coefficients d

filtrage adaptés à chacune des trames, ce qui constitue un avantage important.

Le raccordement de ces trames peut se faire simplement en "accolant" les trames débruitées les unes après les autres, la phase de reconstruction étant alors limitée à l'application de la transformée de Fourier inverse. Cependant, il existe des effets de bords dus notamment aux différentes transformées de Fourier, qui ne sont pas totalement réduits par l'application préalable d'un fenêtrage (Hanning par exemple) précédant l'application de la transformée de Fourier directe. De plus, les filtres utilisés pour débruiter chacune des trames sont différents, comme il vient d'être indiqué. Il ne peut donc pas y avoir "continuité" du signal débruité. L'utilisation d'un filtre de Wiener, qui présente des avantages certains (traitement différentié des trames), n'est donc pas non plus exempte d'inconvénients.

La figure 2 est un diagramme illustrant l'effet parasite des effets de bords. Pour fixer les idées, on considère un signal simple bruité qui se présente sous la forme d'une somme de deux fonctions sinusoïdales, les effets de bords se manifestent par des pics énergétiques aux extrémités des deux trames de ce signal de test. Les deux sinus vérifient les assertions ci-dessous :

- pour le signal utile : $s(t) = \sin(2\pi \cdot 10^3 t)$;
- pour le bruit : $x(t) = 0.5 \times \sin(2\pi \cdot 50 t)$;
- un rapport signal à bruit : $RSB = 6 \text{ dB}$; et :
- nombre d'échantillon par trame : 128.

L'axe vertical du diagramme de la figure 2 donne l'amplitude de l'erreur présente dans le signal de sortie et l'axe horizontal la durée du signal en nombre d'échantillons. Deux trames, appelées "Trame 1" et "Trame 2" ont été représentées, soit au total 256 échantillons. Pour une amplitude maximal égale à l'unité, la courbe montre,

dans cet exemple particulier, des fluctuations d'amplitude moyenne, de l'ordre de $\pm 15 \%$, autour de la valeur zéro, et des pics de grande amplitude, supérieure à $\pm 50 \%$ du signal utile. Ces pics sont dus aux effets de bords, dans les zones
5 de "raccordements" entre trames.

Pour lutter contre cet effet de bord dans les zones de raccordement entre trames, il est connu de procéder à un double découpage en trames du signal sonore à débiter, de façon à obtenir deux suites de trames décalées d'une
10 fraction de longueur de trame, de soumettre les deux suites de trames, indépendamment l'une de l'autre, à un traitement de débiterage analogue à celui illustré à la figure 1 puis de sommer les trames des deux suites après débiterage en
15 tenant compte de leur décalage. Ce procédé, bien qu'efficace, laisse subsister des effets de bords résiduels qui font que le signal sonore débiteré est encore affecté d'un bruit de traitement gênant.

L'invention se fixe pour but, tout en conservant les avantages des procédés selon l'art connu, d'en pallier les
20 inconvénients, et en particulier d'éviter les effets de bord précités. Elle permet, de façon plus générale, de minimiser l'erreur résiduelle subsistant entre le signal débiteré généré, c'est-à-dire "estimé", et le signal réel non bruité.

Elle a pour objet un procédé de reconstruction d'un
25 signal sonore, après un double découpage en trames du signal sonore bruité de façon à obtenir deux suites de trames décalées d'une fraction de longueur de trame et débiterage de chacune des deux suites de trames, consistant à opérer une opération de fenêtrage sur chacune des deux suites de
30 trames après qu'elles aient été débiterées et avant qu'elles ne soient sommées pour fournir le signal sonore final débiteré.

Selon une caractéristique importante, le fenêtrage réalisé lors d l'opération de reconstruction sur chacune
35 d s deux suites de trames après débiterage est tel que la

sommation des trames fenêtrés donne un résultat toujours égal à l'unité, quel que soit le rang de la trame dans l'une ou l'autre des deux suites.

Dans un mode de réalisation préféré, la fenêtre de pondération utilisée sur les deux suites de trames débruitée est du type fonction "cosinus" $g(k)$ et obéit à la relation suivante :

$$g(k) = \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(2\pi \cdot \frac{k-1}{LG_{\text{trame}}} \right) \right] \quad \text{avec } k \in [1; LG_{\text{trame}}]$$

Un traitement de débruitage de signaux sonores bruités constitués de signaux sonores dits utiles mélangés à des signaux de bruit, mettant en oeuvre le procédé de reconstruction selon l'invention comporte les différentes étapes suivantes :

- découpage desdits signaux sonores bruités en deux suites de trames temporelles consécutives, la première suite étant constituée de trames identiques d'une longueur déterminée et la seconde suite étant constituée d'une première trame dont la longueur est une fraction prédéterminée de ladite longueur déterminée, suivie de trames identiques de longueur égale à ladite longueur déterminée, de manière à créer un décalage temporel entre les trames desdites première et seconde suites dont l'amplitude est égale à la longueur de ladite première trame de la seconde suite ;

- lectures successives de toutes les trames de ladite première suite et de toutes les trames de ladite seconde suite à l'exception de la première, de manière à conserver ledit décalage ;

- débruitage, trame par trame, des trames successivement lues de ladite première suite et des trames successivement lues de ladite seconde suite de manière à extraire des trames débruitées à partir de chacun desdites suites ;

- pondération des trames débruitées desdites première et seconde suites en multipliant chacune de ces trames par une fenêtre de pondération représentant une fonction déterminée, et

- 5 - sommation des trames pondérées de ladite première suite avec les trames pondérées de ladite seconde suite, ces trames présentant un recouvrement égal à ladite fraction de longueur prédéterminée.

L'invention a encore pour objet l'application de ce
10 procédé de reconstruction au traitement de la parole.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui suit en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :

- 15 - la figure 1 est un bloc diagramme illustrant les principales phases et étapes d'un exemple de procédé de débruitage d'un signal bruité selon l'art connu ;

- la figure 2 est un diagramme illustrant l'erreur subsistant sur un signal particulier bruité, erreur due à
20 des effets parasites générés par le procédé de la figure 1 ;

- la figure 3 est un bloc diagramme illustrant les principales phases et étapes d'un exemple de traitement de débruitage d'un signal bruité mettant en oeuvre le procédé de reconstruction selon l'invention ;

- 25 - la figure 4 illustre le double découpage en trames utilisé dans le traitement de débruitage illustré à la figure précédente ;

- la figure 5 illustre une fonction en cosinus utilisée comme fenêtre de pondération dans un mode de réalisation
30 préféré du procédé de reconstruction selon l'invention ;

- la figure 6 illustre schématiquement l'étape finale de sommation des deux suites de trames mises en oeuvre dans le procédé de reconstruction selon l'invention ;

- la figure 7 est un diagramme montrant l'effet des étapes de pondération par fenêtrage et de sommation des deux suites de trames mises en oeuvre dans le procédé de reconstruction selon l'invention ;

- 5 - et la figure 8 est un diagramme illustrant l'erreur subsistant sur le signal particulier bruité de la figure 2, traité par le procédé de reconstruction selon l'invention.

Un exemple de procédé selon l'invention va maintenant être décrit par référence au diagramme de la
10 figure 3.

Le signal $u(t)$ à traiter, c'est-à-dire à débruiter, est tout d'abord numérisé et, stocké dans une mémoire tampon. Puis la chaîne de traitement est dédoublée en deux voies parallèles, chacune de ces voies étant associée, sur
15 la figure 3, aux indices "a" et "b", respectivement. Chacune des voies reprend l'essentiel des phases et étapes du traitement de débruitage selon l'art connu : découpage en trames, débruitage et reconstruction du signal. En conséquence, les opérations élémentaires de traitement ne
20 seront redécrites qu'en tant que de besoin. De façon plus précise, la voie de gauche (sur la figure 3), associée arbitrairement à l'indice "a", est strictement identique à la chaîne de traitement représentée sur la figure 1. La voie de droite (sur la figure 3), associée arbitrairement à
25 l'indice "b" comporte une étape supplémentaire qui sera décrite ci-après.

Une étape finale de reconstruction du signal débruité permet de recombinaison les signaux obtenus suite aux deux séries de traitement de débruitage effectués en
30 parallèle.

La première phase du traitement de débruitage consiste en un double découpage en trames (blocs 4a et 4b). Une première étape (40a et 40b) consiste à stocker les échantillons numériques obtenus dans deux mémoires tampons

circulantes, 40a et 40b, du type "FIFO" ("First In, First Out", c'est-à-dire "premier entré, premier sorti"). Comme précédemment, la deuxième étape (42a et 42b) de cette phase consiste à découper le signal original en trames de longueur 5 LGtrame et à lire ces trames.

Les deux séries de trames ont les caractéristiques suivantes :

La première suite de trames représente le découpage en trames de longueur LGtrame du signal original $u(t)$:
10 suite des trames Te_i , dites d'entrée pour la phase de débruitage par le bloc 5a.

La formation de la seconde suite de trames débute par la lecture d'une trame initiale de longueur inférieure à LGtrame (étape 41b) : soit Δ sa durée. Cette trame n'est pas
15 utile, en ce sens qu'elle ne sera pas prise en compte pour la suite des opérations, mais elle est déterminante pour obtenir un "décalage" des deux suites de trames. Puis, la lecture se poursuit prenant en compte de nouveau des trames de longueur LGtrame : suite des trames $T'e_i$, dites d'entrée
20 pour la phase de débruitage par le bloc 5b.

La figure 4 est un diagramme qui illustre le double découpage qui vient d'être décrit. Sur la partie supérieure de la figure 4, on a représenté les cinq premières trames de la première suite de trames : Te_1 à Te_5 , toutes de longueur
25 identique égale à LGtrame (premier découpage). Sur la partie inférieure de cette même figure, on a représenté les cinq premières trames de la seconde suite : T' , Te'_1 à Te'_4 . La trame T' est particulière. Elle est obtenue à l'étape 41b, par lecture d'une trame de longueur Δ , soit une fraction de
30 longueur de trame LGtrame égale à $[Ltrame/x]$. Les autres trames, Te'_1 à Te'_4 sont de nouveau des trames de longueur LGtrame (second découpage).

On élimine du traitement ultérieur la trame T' . On constate qu'il y a un recouvrement des trames de même rang

des deux suites, soit un "décalage" égal à Δ ou $[LGtrame/x]$. Il doit être clair cependant que la notion de "décalage" ne signifie pas une recopie dans le temps des trames de la première suite. Le début de la trame Te'_1 correspond à l'amplitude du signal $u(t)$ à l'instant $t_0 + \Delta$ (avec t_0 instant initial arbitraire), alors que le début de la trame Te_1 correspond à l'amplitude du signal $u(t)$ à l'instant t_0 , dans les deux cas après numérisation.

On procède ensuite à une phase de débruitage des deux suites de trames d'entrée : Te_j et $T'e_j$ (figure 3). Les deux blocs 5a et 5b peuvent être identiques à celui décrit sur la figure 1.

Cette phase de débruitage repose sur une modification des composantes fréquentielles du signal à traiter. Elle implique généralement, un passage dans le domaine fréquentiel au moyen d'une transformée de Fourier rapide ou similaire (étapes 50a ou 50b), une opération de débruitage proprement dite (étape 51a et 51b) par filtrage numérique, avantageusement du type Wiener, et un retour au domaine temporel par une transformée de Fourier inverse ou similaire (étape 52a ou 512b).

Ici, le traitement de débruitage se fait non seulement sur le signal original, c'est-à-dire sur la suite des trames Te_j , mais également sur le signal "décalé", c'est-à-dire sur la suite des trames $T'e_j$. Le décalage entre ces deux signaux est variable et peut en particulier être fixé en fonction du temps de réponse désiré. Ce décalage temporel Δ , induit par la lecture d'une trame initiale lors de la création de la seconde suite d'échantillons, peut avantageusement être représenté sous la forme de la partie entière d'une fraction de $LGTRAME$:

$$\Delta = E(Lgtrame/x),$$

relation dans laquelle E désigne la partie entière.

Ainsi sont obtenues deux suites de trames traitées T_{si} et T'_{si} , dites de sortie. Comme les trames d'entrée, Te_i et $T'e_i$, ces trames de sortie, T_{si} et T'_{si} , sont également décalées temporellement de la valeur Δ .

5 La dernière phase du procédé consiste à reconstruire le signal $s'(t)$ exempt de bruit. La première étape, 60a ou 60b, consiste en un fenêtrage qui est réalisé de façon autonome sur chacune trames des deux suites. La fenêtre de pondération utilisée possède des caractéristiques
10 spécifiques qui seront précisées ci-après.

On va maintenant se placer dans un exemple préféré de réalisation pour lequel la valeur de x est égale à 2. En d'autres termes, la trame initiale T' est égale exactement à une demie longueur de trame, soit $[LGtrame/2]$. Les trames
15 des deux suites se recouvrent donc par moitié.

Toujours dans un mode de réalisation préféré, la fonction décrivant la fenêtre, et utilisée pour la pondération, est une fonction en cosinus telle que représentée sur le diagramme de la figure 5. Dans le cadre
20 de l'exemple décrit, une trame comporte 128 échantillons, et l'axe horizontal du diagramme est gradué en nombre n d'échantillons.

L'équation mathématique décrivant cette fonction est donnée par la relation suivante :

$$25 \quad g(k) = \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(2\pi \cdot \frac{k-1}{LGtrame} \right) \right] \quad \text{avec } k \in [1; LGtrame] \quad , \quad (3)$$

A l'intérieur d'une trame, cette fonction a une amplitude A maximale égale à l'unité pour $[LGtrame/2]$, soit $n = 64$ échantillons, et passe par zéro pour $n = 0$ et $n = 128$.

30 Si on appelle :

$g_1(k)$ la partie de $g(k)$ pour $k \in \left[1; \frac{LGtrame}{2}\right]$, et (4)

$g_2(k)$ la partie de $g(k)$ pour $k \in \left[\frac{LGtrame}{2} + 1; LGtrame\right]$ (5),

il existe une propriété supplémentaire entre $g_1(k)$ et $g_2(k)$, exprimée par la relation suivante :

$$g_1\left(k + \frac{LGtrame}{2}\right) + g_2(k) = 1, \quad k \in \left[1; \frac{LGtrame}{2}\right] \quad (6).$$

Après pondération (étape 60a ou 60b, de la phase 6 de reconstruction du signal), les segments de signal débruité sont additionnés (étape 61) comme illustré schématiquement par la figure 6. Ainsi, une demi-trame pondérée par la première partie ($g_1(k)$) de la fenêtre cosinus est additionnée avec une demi-trame pondérée par la seconde partie ($g_2(k)$) de cette même fenêtre. Les trames débruitées, en sorties de pondération et de sommation, sont référencées $TD1_i$, $TD2_i$ et TD_i en ce qui concerne la première suite (découpage 1), la seconde suite (découpage 2) et le résultat de la sommation, respectivement. Tenant compte de la propriété exprimée par la relation (6), le signal résultant de la sommation constitue le signal débruité recherché $s'(t)$.

Sur la figure 6, on a représenté les trames suivantes :

- $TD1_m$ et $TD1_{m+1}$: deux trames débruitées consécutives de rangs m et $m+1$, avec le découpage 1 ;
- $TD1_{m-1}$, $TD2_m$ et $TD1_{m+1}$: trois trames débruitées consécutives de rangs $m-1$, m et $m+1$, avec le découpage 2 ;
- et :
- $TD1_m$: deux trames débruitées consécutives de rangs m et $m+1$, après sommation (étape 61).

L processus de sommation est donc le suivant : la première demi-trame TD_m est égale à la somme de la première demi-trame TD_{1m} et de la seconde demi-trame TD_{m-1} , la seconde demi-trame TD_m est égale à la somme de la seconde demi-trame TD_{1m} et de la première demi-trame TD_m , et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'à ce que toutes les trames soient traitées s'il s'agit d'un signal $u(t)$ de longueur finie. Dans le cas contraire, le processus est continu.

La figure 8 est un diagramme illustrant le résultat de la sommation des deux fenêtres de pondération $g_1(k)$ et $g_2(k)$, conformément à la propriété remarquable qui les lie (équation (6)). On a porté sur ce diagramme les deux courbes ci-dessus et le résultat $g(k) = g_1(k) + g_2(k)$, sur la longueur d'une demi-trame. On constate bien, qu'à tout instant, la courbe $g(k) = g_1(k) + g_2(k)$ est une droite de pente nulle, passant par l'ordonnée unité. Ce résultat reste vrai, quelle que soit la paire de demi-trames considérée.

La fenêtre de pondération en cosinus (équation (3)) permet ainsi d'annuler les effets de bords aux extrémités de chaque trame.

Le signal est donc correctement débruité, tout en éliminant les effets parasites constatés dans les procédés de l'art connu.

A titre comparatif, si on considère de nouveau l'exemple ayant conduit à la courbe d'erreur de la figure 2, c'est-à-dire un signal bruité simple, qui se présente sous la forme d'une somme de deux fonctions sinusoïdales dont les paramètres ont été précédemment donnés, on obtient la courbe d'erreur (sur deux trames, c'est-à-dire 256 échantillons comme précédemment) donnée par le diagramme de la figure 8.

On constate qu'il n'y a plus d'effets de bords et que la courb d'erreur se réduit à une très faible ondulation, résidu lles comprise dans la fourchette $\pm 0,05$. Etant donné que l'amplitude maximale du signal est ± 1

(fonctions sinusoïdales), Cette dernière valeur est à comparer aux pics dus aux effets de bords supérieurs à $\pm 50\%$ de l'amplitude maximale du signal utile (figure 2), c'est-à-dire $\pm 0,5$. L'erreur maximale est donc réduite dans un
 5 rapport dix. De même l'ondulation résiduelle en amplitude de la fonction erreur est trois fois moins importante ($\pm 0,05$ au lieu de $\pm 0,15$).

A la lecture de ce qui précède, on constate aisément que l'invention atteint bien les buts qu'elle s'est fixés.

10 Il doit être clair cependant que l'invention n'est pas limitée aux seuls exemples de réalisations explicitement décrits, notamment en relation avec les figures 3 à 8.

Bien qu'il soit particulièrement avantageux d'adopter une valeur de décalage :

$$15 \quad \Delta = \frac{E(LGtrame)}{2},$$

qui correspond au mode de réalisation préféré, de façon plus générale, on peut adopter d'autres valeurs telles que :

$$\Delta = \frac{E(LGtrame)}{x},$$

avec $x > 1$.

20 Il est seulement nécessaire que la fonction associée à la fenêtre de pondération soit telle que la relation (6) soit vérifiée à chaque instant.

De même, la fonction de pondération n'est pas limitée à la seule fonction de type cosinus, bien que cette
 25 fonction présente l'avantage de variations douces. On peut, en effet, avoir recours à des fonctions en dents de scie, de typ triangl ou trapèze. Cependant, c s fonctions risquent d'induire des effets parasites, car elles présentent des variations brusques aux changements de pente.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de reconstruction d'un signal sonore, après un double découpage du signal en trames de façon à obtenir deux suites de trames décalées d'une fraction de longueur de trame et débruitage de chacune des suites de trames, caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser une opération de fenêtrage sur chacune des deux suites de trames après qu'elles aient été débruitées et avant qu'elles ne soient sommées pour fournir le signal sonore final débruité.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite opération de fenêtrage consiste à appliquer sur chaque trame de signal débruité une fonction de pondération $g(k)$ comprise dans une fenêtre de longueur égale à celle d'une trame et obéissant à la relation suivante :

$$g_1(k + \frac{LGtrame}{2}) + g_2(k) = 1, \quad k \in \left[1; \frac{LGtrame}{2}\right], \text{ avec :}$$

LGtrame égal à ladite longueur déterminée de trame,

$g_1(k)$ la partie de $g(k)$ pour $k \in \left[1; \frac{LGtrame}{2}\right]$, et :

$g_2(k)$ la partie de $g(k)$ pour $k \in \left[\frac{LGtrame}{2} + 1; LGtrame\right]$.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite fonction de pondération est une fonction en cosinus dans une fenêtre de longueur égale à ladite longueur déterminée de trame (LGtrame) et obéissant à la relation suivante :

$$g(k) = \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(2\pi \cdot \frac{k-1}{LGtrame} \right) \right] \quad \text{avec } k \in [1; LGtrame]$$

4. Traitement de débruitage d'un signal sonore mettant en oeuvre le procédé de reconstruction selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une
5 étape préliminaire consistant en la numérisation desdits signaux bruités ($u(t)$) par échantillonnage avant ledit découpage en deux suites de trames ($Te_i, T'e_i$) et une étape de stockage (40a, 40b) des trames numérisées des deux suites dans deux mémoires circulantes du type "premier
10 entré - premier sorti".

5. Traitement selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de débruitage (5a, 5b) consistant, indépendamment pour chacune desdites deux suites, à appliquer à chaque trame (Te_i ou $T'e_i$) une
15 transformée de Fourier rapide (50a, 50b), un filtrage numérique (51a, 51b), différencié d'une trame à l'autre, suivi d'une transformée de Fourier inverse (52a, 52b).

6. Traitement selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit filtrage numérique (51a, 51b) est réalisé
20 à l'aide d'un filtre de Wiener.

7. Application du traitement selon l'une quelconque des revendications 4 à 6 au débruitage de signaux de parole bruités ($u(t)$).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la durée d sdites trames ($Te_i, T'e_i$) est comprise
25 dans la gamm 10 à 20 ms.

1/4

FIG.1

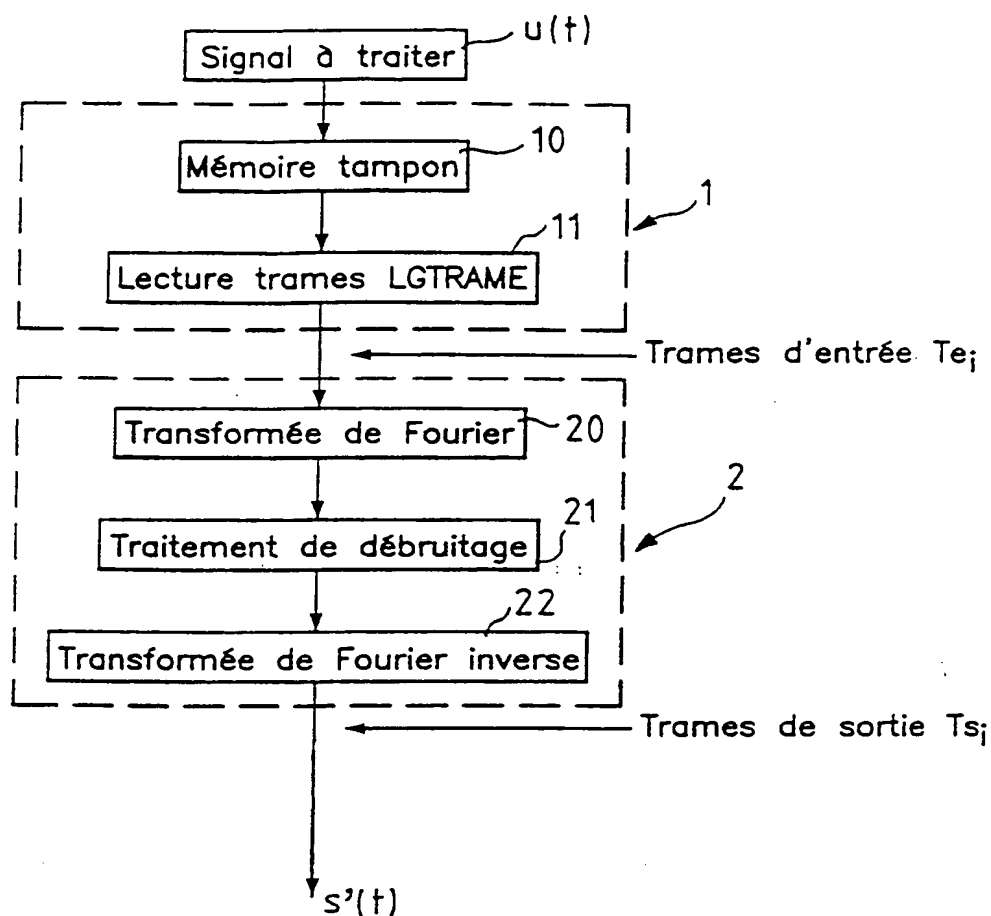
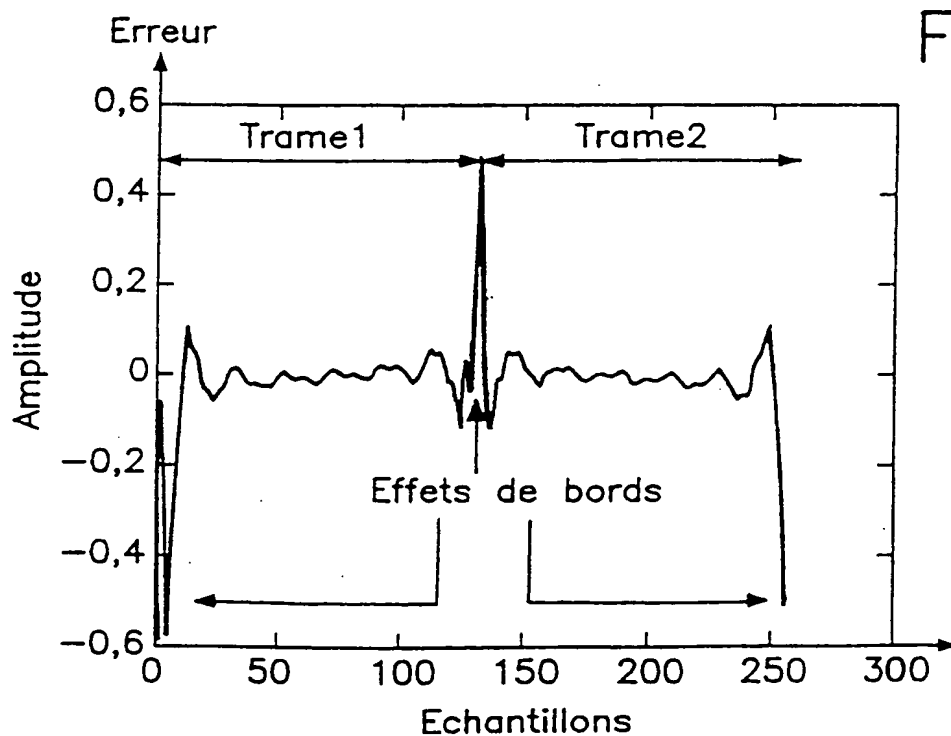
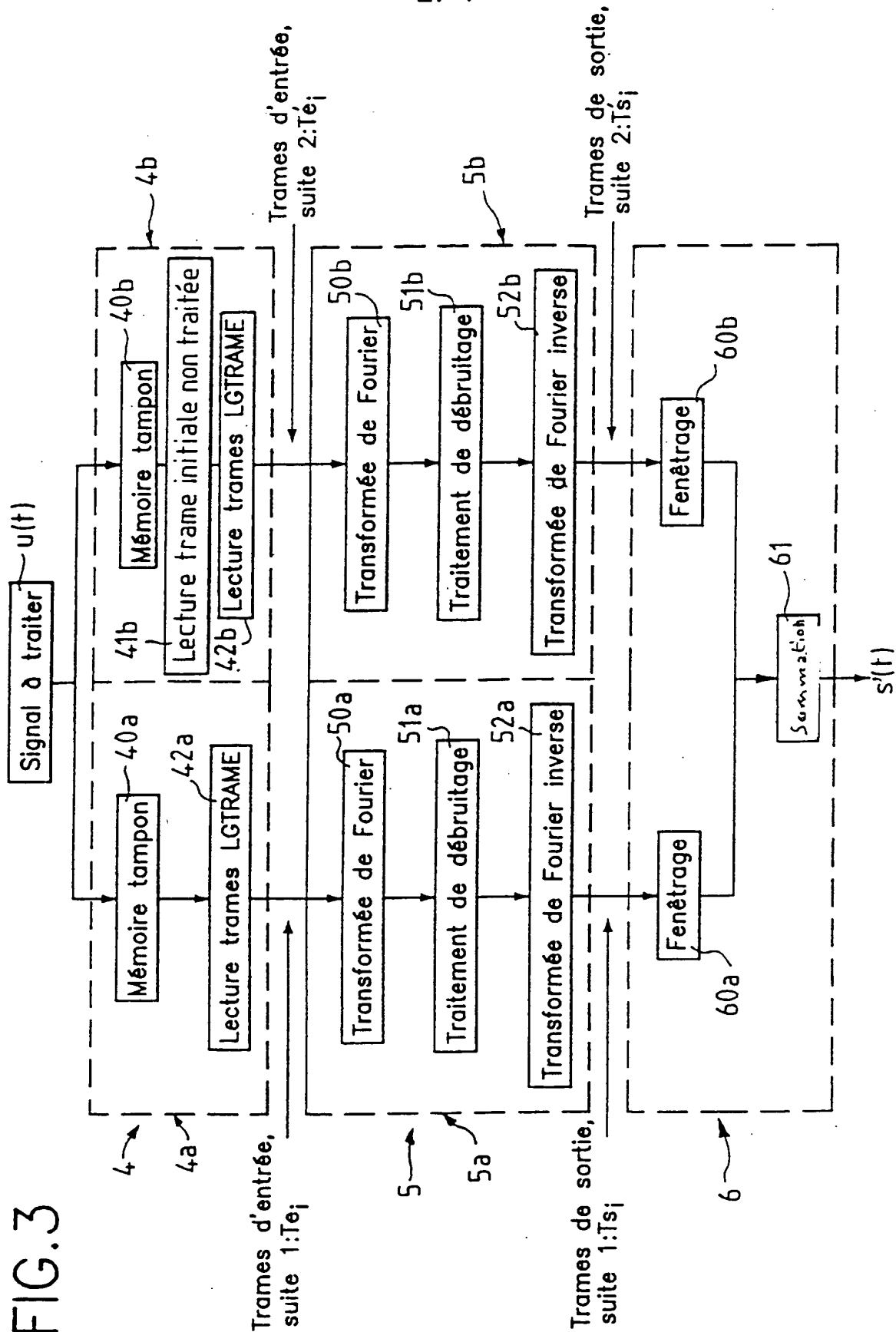


FIG.2



2/4

FIG.3



3/4

FIG.4

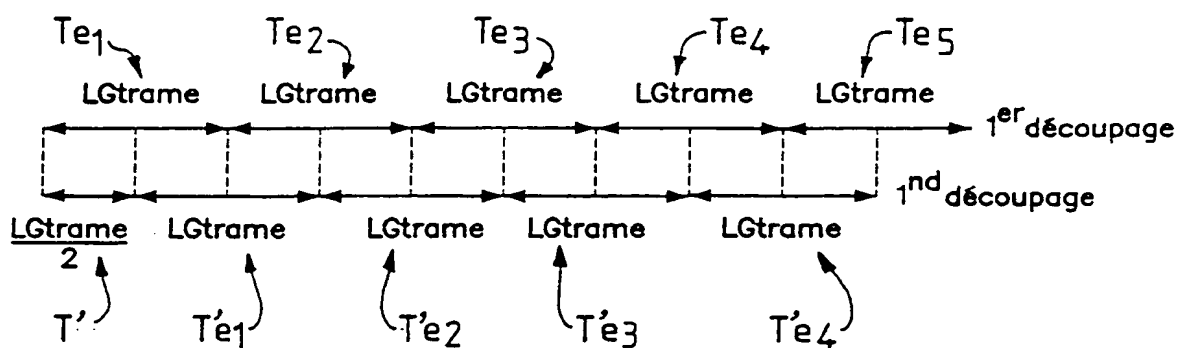
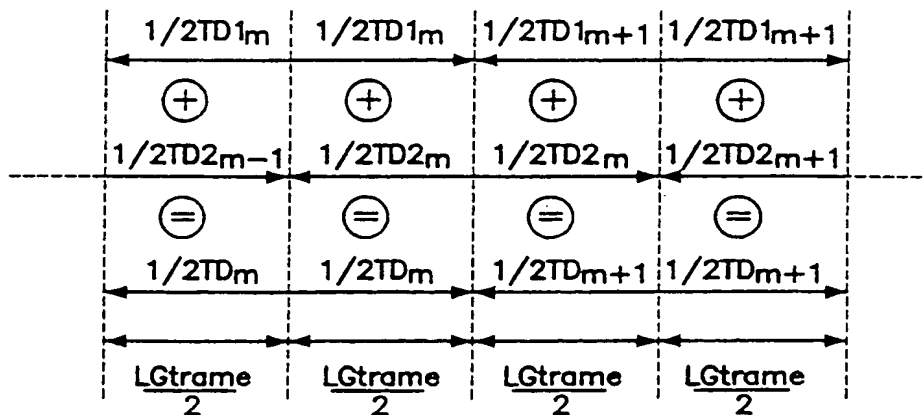


FIG.6



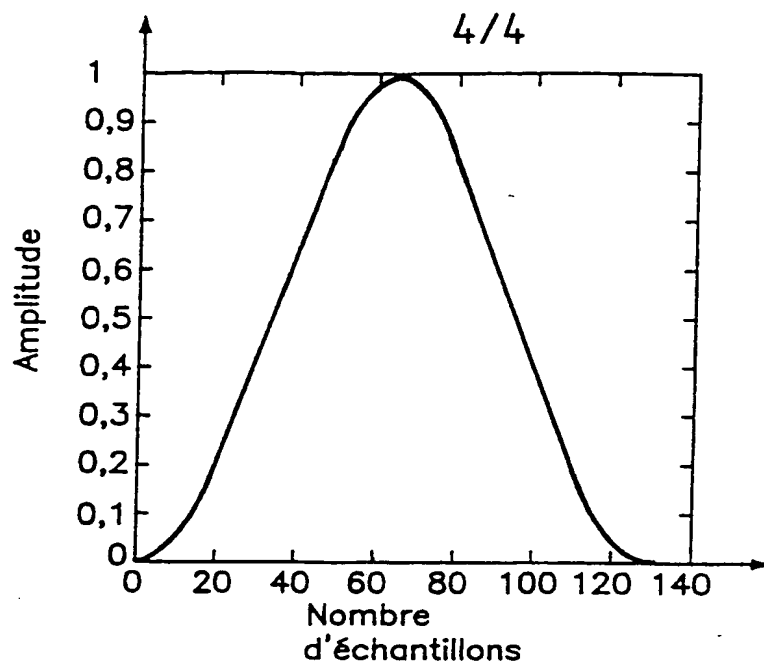


FIG.5

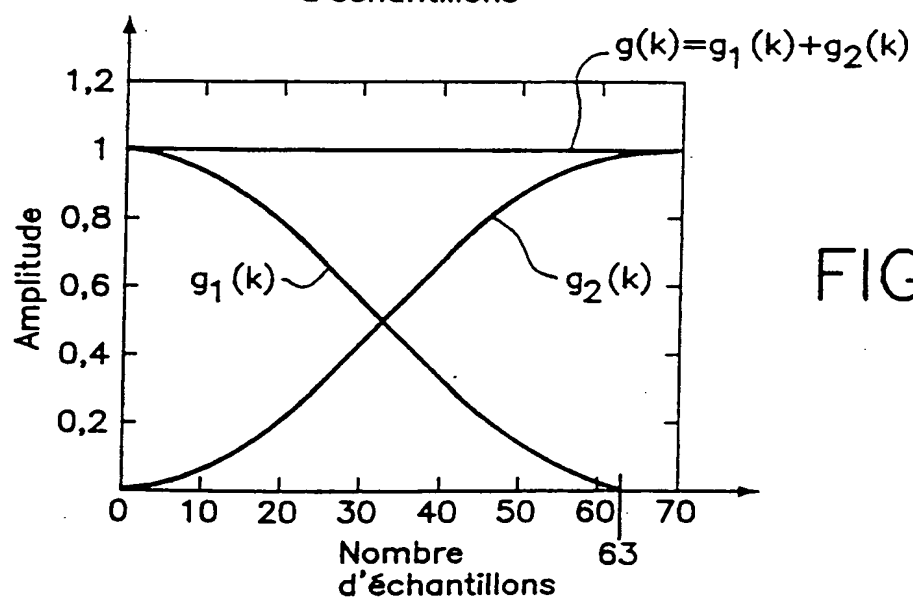


FIG.7

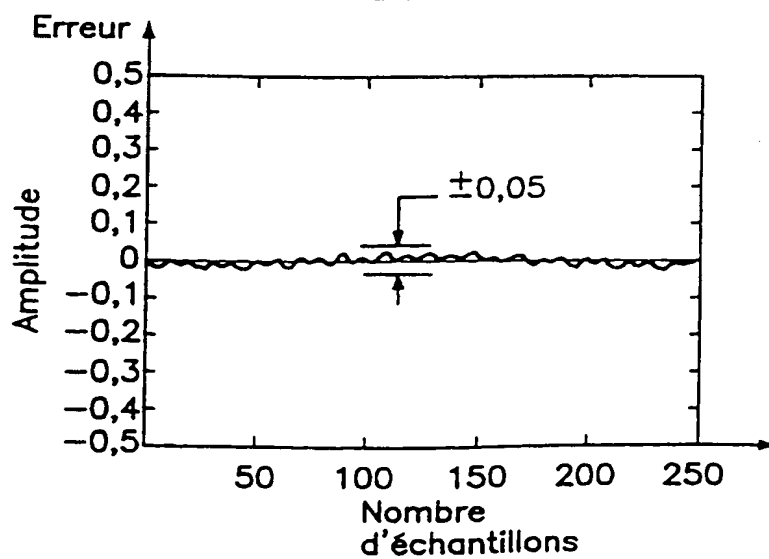


FIG.8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De de Internationale No
PCT/FR 98/02491

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G10L3/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G10L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>COMPERNOLLE VAN D: "SPEECH ENHANCEMENT FOR APPLICATIONS IN COMMUNICATION AND RECOGNITION"</p> <p>REVUE HF,</p> <p>vol. 17, no. 1/02/03, 1 janvier 1993,</p> <p>pages 99-108, XP000417952</p> <p>voir alinéa 3</p> <p>voir alinéa 5</p> <p>voir figure 2</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1-9

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☐ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 décembre 1998

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/12/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Krembel, L

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De Je Internationale No

PCT/FR 98/02491

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>BOLL S F: "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction"</p> <p>IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, APRIL 1979, USA, vol. ASSP-27, no. 2, pages 113-120, XP002072967</p> <p>ISSN 0096-3518</p> <p>voir alinéa III-B</p> <p>voir figure 2</p> <p>-----</p>	1-4,8,9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De de Internationale No

PCT/FR 98/02491

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G10L3/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G10L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>COMPERNOLLE VAN D: "SPEECH ENHANCEMENT FOR APPLICATIONS IN COMMUNICATION AND RECOGNITION"</p> <p>REVUE HF,</p> <p>vol. 17, no. 1/02/03, 1 janvier 1993,</p> <p>pages 99-108, XP000417952</p> <p>voir alinéa 3</p> <p>voir alinéa 5</p> <p>voir figure 2</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1-9

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☐ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

18 décembre 1998

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/12/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Krembel, L

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De Je internationale No

PCT/FR 98/02491

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>BOLL S F: "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction"</p> <p>IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, APRIL 1979, USA, vol. ASSP-27, no. 2, pages 113-120, XP002072967</p> <p>ISSN 0096-3518</p> <p>voir alinéa III-B</p> <p>voir figure 2</p> <p>-----</p>	1-4,8,9